文章编号: 1009-3850(2013)03-0087-07

老挝万象省爬立山铁矿成矿二长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义

王疆丽[1,2]，林方成[2]，朱华平[2]，王 宏[2]，施美凤[2]

(1. 中国地质科学院，北京 100037; 2. 成都地质矿产研究所，四川 成都 610081)

摘要: 爬立山铁矿位于老挝-越南长山铜金铁多金属构造岩浆成矿带中段，为一大型矽卡岩型磁铁矿床。通过对矿床地质特征、岩体产出特征分析，认为该铁矿成矿作用受区内二长花岗岩岩浆活动制约。本文对含矿二长花岗岩进行了岩相学和锆石 SHRIMP U-Pb 定年研究。所测锆石内部结构、阴极发光图像特征及 Th/U 比值的研究表明，二长花岗岩中的锆石为岩浆锆石。U-Th-Pb 同位素分析结果显示岩体形成年龄为 280.3 ± 2.9Ma (MSWD = 0.70)。结合区域构造演化及构造岩浆岩带形成的动力学机制，认为爬立山铁矿系早二叠世洋板俯冲背景下弧岩浆作用主导的产物，与长山带海西晚期大规模铜金铁矿同属于一个活动陆缘成矿系统。

关 键 词: 爬立山铁矿; 二长花岗岩; SHRIMP U-Pb 定年; 老挝; 东南亚

中图分类号: P588.12+1 文献标识码: A

老挝-越南长山铜金铁多金属成矿带是东南亚中南半岛重要的构造岩浆多金属成矿带，带内已知的矿床主要有越南和静省石溪(Thack Khe)铁矿床，老挝沙湾拿吉省色潘(Sepon)铜金矿床，老挝川圹省富开(PhuKham)铜金铁矿床等。最初的研究认为，该带内生多金属矿床成矿主要与花岗质岩浆侵入活动有关，成矿时代主要为印支-燕山期[1,2]。近年来，国外学者对老挝-越南长山成矿带的斑岩及斑岩型铜金矿和矽卡岩型铁矿床年代学研究提出的成矿时代与前人结论存在明显分歧，如色潘斑岩型铜金矿成矿花岗斑岩 SHRIMP U-Pb 年龄为 290 ± 5Ma[3]，富开矽卡岩-斑岩型铜金矿成矿岩浆岩 LA-ICPMS U-Pb 年龄为 310 ~ 270Ma[4]。这些矿床成矿时代的精确测定更新了早期对该带成矿时代的认识。作为老挝-越南长山多金属构造岩浆成矿带重要组成部分的爬立山铁矿，随着勘查进度日趋深入，国内学者对矿床地质特征及找矿方向等方面进行了研究[5,6]，但缺乏精确的年代学数据。最近，有研究指出区内闪长岩、花岗闪长岩的年龄为 317 ~ 308Ma[7,8]，但并未说明岩体与成矿之间的关系，岩体年龄的地质意义较模糊。笔者多次前往爬立山铁矿区进行现场考察，在系统的野外调查和室内工作基础上，采集了与铁矿成矿密切相关的二长花岗岩样品，首次对其进行了精确的锆石 SHRIMP U-Pb 定年研究，并结合前人资料，探讨长山带岩浆活动与铜金铁多金属成矿作用的关系。

1 地质背景

爬立山铁矿大地构造上位于印支地块东部长山(Truong Son)褶皱带的北西端。长山褶皱带(也称为长山构造岩浆岩带)沿老挝-越南长山山脉北西-南东向展布，发育元古代-早寒武世变质杂岩体，构成地块结晶基底; 早-中古生代发育混合岩穹隆及高铝、硅、钠的花岗岩，形成具硅铝质特性的

收稿日期: 2013-06-06; 改回日期: 2013-06-20
作者简介: 王疆丽(1988-)，女，硕士研究生，专业: 矿物学、岩石学、矿床学。E-mail: 460304679@qq.com
通讯作者: 林方成(1964-)，男，研究员，从事矿床学、区域成矿规律与预测研究。E-mail: linfch@126.com
资助项目: 中央地勘基金境外矿产资源风险勘查项目(NO. [2011] D3-03); 中国地质调查局国土资源大调查项目(NO. 1212011220907; NO. 1212011120337)

大陆壳;晚古生代,先后经历了马江洋的南西向俯冲消减及大洋闭合后印支-华南陆块间的汇聚碰撞和随后的构造-变形变质热事件,从而形成长山褶皱带[9-12]。总体上,该带地史上发生了多期强烈的构造-岩浆作用,同时也伴生着复杂而丰富的成岩-成矿作用。

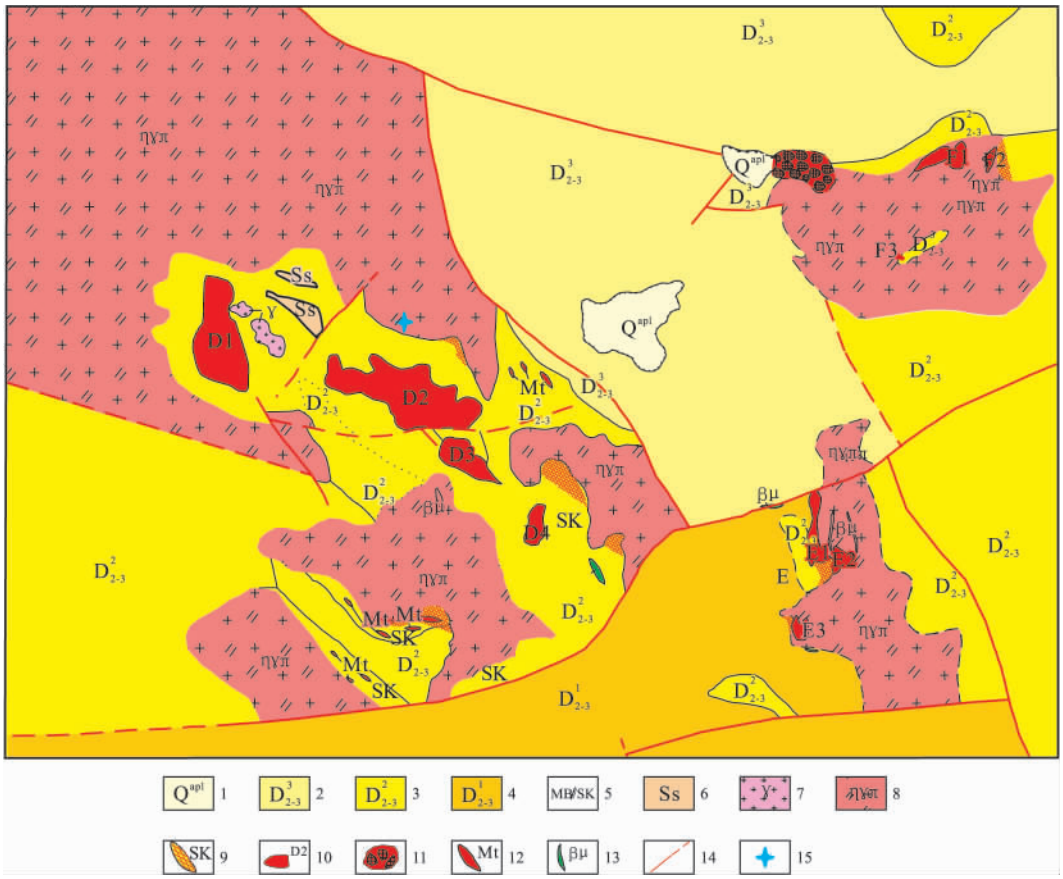

图1 老挝万象省爬立山铁矿D矿区地质简图

1. 第四系;2. 中上泥盆系上岩性段;3. 中上泥盆系中岩性段;4. 中上泥盆系下岩性段;5. 大理岩/矽卡岩;6. 砂岩;7. 花岗岩;8. 二长花岗岩;9. 矽卡岩(化)带;10. 铁矿体及编号;11. 铁矿石堆积体;12. 磁铁矿脉;13. 辉绿岩脉;14. 断层及推测断层;15. 采样位置

Fig. 1 Generalized geological map of the D mining district of the Phalek iron deposit in Vientiane, Laos

1 = Quaternary; 2 = upper member of the Middle – Upper Devonian strata; 3 = middle member of the Middle – Upper Devonian strata; 4 = lower member of the Middle – Upper Devonian strata; 5 = marble/skarn; 6 = sandstone; 7 = granite; 8 = monzogranite; 9 = skarn (skarnization) zone; 10 = iron orebody; 11 = iron ores; 12 = magnetite veins; 13 = diabase veins; 14 = fault/inferred fault; 15 = sampling site

矿区出露地层较为简单,以泥盆系和第四系为主。泥盆系构成矿区的主要含矿岩系,可细分为三段(图1)。D_{2-3}^{1}为一套浅海相碳酸盐组合,主要岩性为中-薄层状泥灰岩,含泥质灰岩,多发生区域浅变质作用。D_{2-3}^{2}分为上下两部分,下部为浅海-滨海相碳酸盐-碎屑岩组合,普遍大理岩化,夹矽卡岩化蚀变岩;上部为一套较为典型火山碎屑岩组合,主要岩性为蚀变晶屑岩屑凝灰岩、流纹质凝灰岩、凝灰质砂岩。D_{2-3}^{3}岩性组合为一套中厚层状的石灰岩夹砂岩、页岩互层组成,在地貌上往往形成陡峭山峰。

区内侵入岩广布,以海西期的闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、花岗岩为主,岩体主要侵入于泥盆系地层中。二长花岗岩在爬立山铁矿D矿区外围以大岩基形态产出,花岗闪长岩、花岗岩则以不规则岩株状产出,其中花岗岩部分以岩枝或岩脉状侵入于二长花岗岩体中。

矿区内构造发育,以断裂为主,褶皱为辅。断裂构造主要分为北西向、北东向、和近东西向三组断裂。北西向断裂控制岩体产出,为区内主要构造。北东向、东西向构造为成矿期后构造,为地壳隆升作用过程中形成的破矿构造。

2 岩体特征

爬立山矿区内的二长花岗岩侵位于泥盆系泥质灰岩、钙质长石石英砂岩、钙质页岩及白云质灰岩和灰岩地层中，以小岩株形态产出，单个岩体出露面积为 0.5 ~ 2km^2。矿区接触交代变质作用强烈，围岩蚀变以矽卡岩化为主，形成了多条含矿矽卡岩带，且表现为愈靠近岩体矽卡岩化愈强烈的特征。

二长花岗岩呈浅肉红色，中细粒花岗结构，块状构造。主要矿物成分为：斜长石(28% ~30%)、钾长石(30% ~33%)、石英(25% ~30%)、黑云母(4% ~5%)角闪石(2% ~3%)等。副矿物主要为磷灰石、磁铁矿、锆石等。二长花岗岩中 SiO_2 含量为 68.28%，里特曼指数 δ 为 2.26，为钙碱性岩；($K_2O + Na_2O$)均值为 7.10%，K_2O/Na_2O 比值为 0.32。岩石微量元素含量分析结果显示，富集 Rb、Ba、K、Sr 等大离子亲石元素，明显亏损 Ta、Nb、P、Ti 等高场强元素，并相对富集 U、Th、Pb 和轻稀土元素；Fe、Cu、Pb、Zn 成矿元素丰度值较高，可为成矿提供部分成矿物质[6]。

磁铁矿化发育于二长花岗岩与围岩接触带及附近的矽卡岩中，主要由磁铁矿构成。矽卡岩呈似层状、透镜状，整体与地层产状基本一致，与岩体接触面呈不规则状、港湾状。矽卡岩及矽卡岩化带长约 500 ~ 5000m，宽约 100 ~ 1500m。矿体底板、顶板及围岩为二长花岗岩和石榴子石、透辉石、阳起石、绿帘石矽卡岩及大理岩、结晶灰岩。

3　样品采集与测试方法

样品 LAO003 采自老挝万象省赛宋文县爬立山铁矿区 D2 号矿体区内二长花岗岩中(图 1)，地理坐标为：102°56′50″E、18°59′42″N。样品较为新鲜，采样点部位岩体无矽卡岩化，构造裂隙不发育，未发现后期岩脉。将野外采集的岩石样品经磨片后在镜下鉴定初步确定其名称为中细粒二长花岗岩，所采样品具有代表性。

锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定在中国地质科学院北京离子探针中心 SHRIMP Ⅱ 上完成。具体处理过程为：样品经破碎、淘洗、重液分离和电磁分离后，在双目镜下挑选晶型完好、具有代表性的锆石颗粒和标准锆石 TEMORA 一起粘在树脂台上，打磨抛光，制成样靶[13]。离子探针测试之前，在电子探针上进行阴极发光(CL)照相，确定锆石的内部结构和成因。本次锆石的分选在成都地质矿产研究所测试中心完成，锆石制靶和阴极发光图像在北京离子探针中心完成。原始数据处理采用 Ludwig 博士编写的 Squid1.02 及 Isplot3.0 程序[14,15]。普通 Pb 校正根据实测的 Pb^{204} 进行[16]，其组成采用相应年龄的地壳平均 Pb 同位素组成[17]。单个测点数据为连续 5 次扫描分析的平均值，误差采用 1σ。年龄结果采用 $^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均值，误差为 2σ(95% 的置信度)。

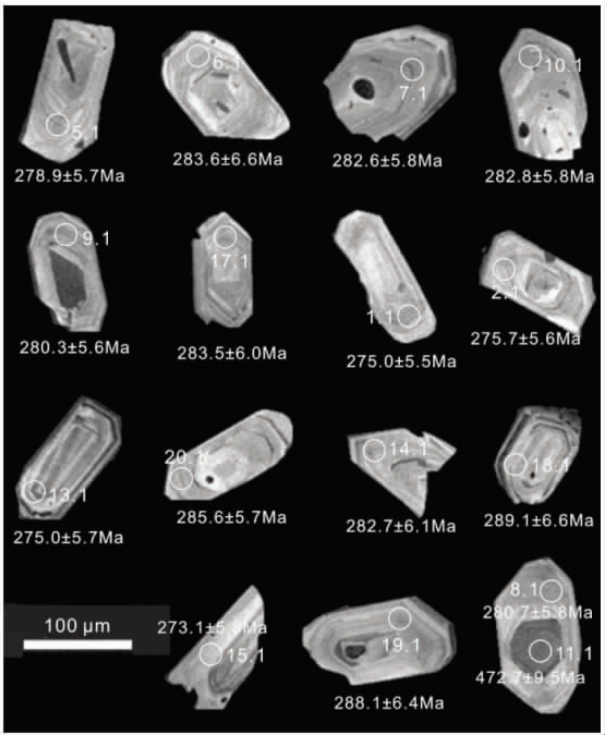

图 2　爬立山二长花岗岩中代表性单颗粒锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 2　The cathodoluminescence images of the representative zircons in the monzogranite from the Phalek iron deposit

4　测试结果

4.1　锆石 CL 图像特征

从二长花岗岩中选取的锆石颗粒大多数晶形较好，为浅黄褐色-浅红褐色半自形-自形柱状晶体，金刚光泽。锆石粒度多为 50 ~ 150μm，晶体长宽比为 2:1 ~ 3:1，裂纹和包体均较少。在碎样过程中部分锆石形态遭到一定程度破坏。从 CL 图像中(图 2)可以看出，锆石内部结构清晰，发育典型的岩浆生长振荡环带和韵律性结构，属于岩浆结晶产物。部分锆石边缘呈港湾状，表明其形成后曾受到一定程度的溶蚀；有的锆石内部明显包含一个核心，有可能为早期残留锆石，形态呈浑圆状。

4.2　锆石 Th、U 含量和 Th/U 比值

表1 爬立山铁矿区二长花岗岩锆石 SHRIMP 分析结果

Table 1 SHRIMP zircon U-Pb isotopic analyses for the monzogranite from the Phalek iron deposit

测点号	U (10^{-6})	Th (10^{-6})	Th/U	$^{206}Pb_c$ (%)	$^{206}Pb^*$ (10^{-6})	$^{238}U/^{206}Pb^*$	±%	$^{207}Pb^*/^{235}U$	±%	$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$	±%	$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄(Ma)
LAO0031.1	267	242	0.94	0.23	10	22.95	2.1	0.3122	2.7	0.052	1.7	275.0± 5.5
LAO0032.1	789	712	0.93	0.16	29.7	22.89	2.1	0.3076	2.4	0.051	1.2	275.7± 5.6
LAO0033.1	303	154	0.53	0.93	18	14.61	2.1	0.479	4.5	0.051	4	426.9± 8.7
LAO0035.1	362	237	0.68	0.61	13.8	22.62	2.1	0.318	3.9	0.052	3.3	278.9± 5.7
LAO0036.1	420	268	0.66	0.84	16.4	22.24	2.4	0.33	4.2	0.053	3.5	283.6± 6.6
LAO0037.1	401	209	0.54	0.82	15.6	22.31	2.1	0.313	4.4	0.051	3.9	282.6± 5.8
LAO0038.1	417	289	0.72	0.32	16	22.47	2.1	0.337	3.6	0.055	2.9	280.7± 5.8
LAO0039.1	612	433	0.73	0.66	23.5	22.5	2.1	0.315	3.5	0.051	2.8	280.3± 5.6
LAO00310.1	439	288	0.68	0.5	17	22.3	2.1	0.317	4.3	0.051	3.8	282.8± 5.8
LAO00311.1	429	173	0.42	0.56	28.2	13.14	2.1	0.724	3.6	0.069	3	472.7± 9.5
LAO00312.1	420	274	0.68	1.03	15.8	23.09	2.3	0.291	5	0.049	4.5	273.3± 6.0
LAO00313.1	449	315	0.72	0.55	16.9	22.94	2.1	0.329	3.9	0.055	3.3	275.0± 5.7
LAO00314.1	317	183	0.6	2.67	12.5	22.34	2.2	0.259	10	0.042	10	282.3± 6.1
LAO00315.1	334	189	0.59	1.48	12.6	23.11	2.2	0.279	6.5	0.047	6.2	273.1± 5.8
LAO00316.1	936	662	0.73	0.65	39.4	20.55	2.1	0.35	3.6	0.052	2.9	306.3± 6.2
LAO00317.1	308	191	0.64	1.78	12.1	22.24	2.2	0.311	7.6	0.05	7.3	283.5± 6.0
LAO00318.1	240	139	0.6	0.76	9.53	21.8	2.3	0.315	5.2	0.05	4.6	289.1± 6.6
LAO00319.1	180	106	0.61	0.99	7.15	21.88	2.3	0.358	6.3	0.057	5.9	288.1± 6.4
LAO00320.1	910	843	0.96	0.27	35.5	22.07	2	0.3346	2.7	0.054	1.7	285.6± 5.7

误差为1σ；Pb_c和Pb*分别代表普通铅和放射性成因铅；标准校正差的误差为0.54%

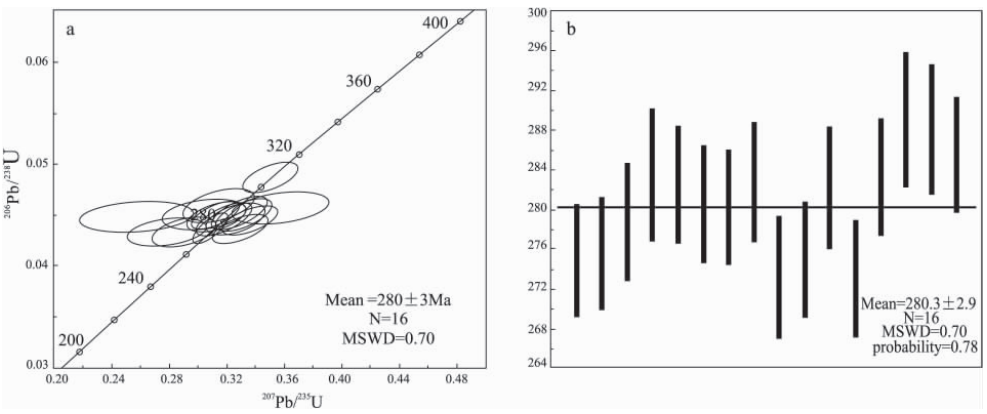

图3 爬立山二长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 谐和图(a)和$^{206}Pb/^{238}U$年龄加权平均值(b)

Fig. 3 SHRIMP zircon U-Pb concordia plot (a) and $^{206}Pb/^{238}U$ weighted mean ages (b) for the monzogranite from the Phalek iron deposit

所测锆石颗粒的 U-Th-Pb 同位素分析结果见表1，依据这些测试数据所做的 U-Pb 谐和图以及采用$^{206}Pb/^{238}U$年龄进行加权平均值计算的年龄见图3。

一般情况下，岩浆锆石的 Th、U 含量高，Th/U 比值大(一般>0.4)；而变质成因锆石的 Th、U 含量低，Th/U 比值小(一般<0.1)[18-20]。典型岩浆成因锆石的 Th/U 比值为 0.1～1.1[21]，Th/U 比值变化较大，说明锆石形成于化学成分相对不均匀的岩浆结晶条件[22]。笔者对二长花岗岩样品中锆石颗粒的19个点进行了测定(表1)，其中17个测点锆石 Th 含量为 $106\times10^{-6}\sim843\times10^{-6}$，U 含量为 $180\times10^{-6}\sim936\times10^{-6}$，Th/U 比值变化为 0.54～0.96，均值为 0.71。分析点位于环带韵律结构清晰部位，属典型的岩浆成因锆石，且形成于化学成分较均一的岩浆结晶条件；两个测点锆石 Th 含量分别为 154×

10^{-6}、173×10^{-6}，U 含量分别为 303×10^{-6}、429×10^{-6}，Th/U 比值分别为 0.42、0.53，分析点位于浑圆状锆石核部，推测其可能为早期残留锆石或岩浆捕获锆石。

4.3　锆石 U-Pb 年龄

样品 SHRIMP 锆石 U-Pb 分析共获得两组年龄(表 1)，第一组包括 17 个测点，$^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄变化为 273.1±5.8～306.3±6.2Ma，其加权平均年龄为 280.3±2.9Ma(MSWD=0.70)，与协和年龄 280±3Ma(MSWD=0.70)基本一致，能够代表爬立山二长花岗岩的成岩年龄；第二组两个测点 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄分别为(426.9±8.7)Ma、(472.7±9.5)Ma，由于数据少且差别较大，不具有统计意义，推测其为岩浆捕获锆石或残留锆石的年龄。

5　认识与讨论

5.1　成岩成矿时代

本次研究的二长花岗岩体位于爬立山铁矿矿区内部，侵位于中下泥盆统地层中。通过本文研究将爬立山二长花岗岩体的侵位结晶年龄定为(280.3±2.9)Ma，为早二叠世阿尔丁斯克期岩浆活动的产物，与长山带海西晚期大规模岩浆活动时期基本一致。

矿区内矽卡岩型磁铁矿体与二长花岗岩和花岗岩紧密伴生。区内主要构造为北西向断裂，控制着岩体及矿体的产出形态。花岗质岩体总体呈北西-南东向展布，以不规则岩株状侵位于中下泥盆统碳酸盐岩、钙质碎屑岩地层中，产生以岩浆汽水热液接触交代作用为主的矽卡岩化，在内、外接触带内形成透镜状、似层状矽卡岩型磁铁矿体。前人研究认为矿区闪长岩、花岗闪长岩形成于晚石炭世华南地块向印支地块俯冲背景下的火山岛弧环境，岩体侵位时间为华力西期(U-Pb 年龄 317～308Ma)[7,8]，并可能与矽卡岩成矿相关。但本文研究得出，与成矿有关的二长花岗岩年龄为 280.3±2.9Ma，稍晚于早期闪长岩和花岗闪长岩的侵位结晶时间。根据岩体野外产出关系及岩浆演化序列，推测矿区闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩和花岗岩的形成演化为在时间上从早到晚、在化学成分上从中性到酸性的统一岩浆结晶分异系统，岩浆活动具有多期次脉动特点，成矿主要与岩浆演化晚期偏酸性的二长花岗岩、花岗岩相关，其分异出的含矿岩浆热液与中下泥盆统地层发生矽卡岩化作用，产生矿质的富集与沉淀，形成爬立山矽卡岩型磁铁矿床。成矿时代应与二长花岗岩的侵位时代一致，为 280Ma 左右，即早二叠世阿尔丁斯克期。

5.2　长山带岩浆活动与铜金铁多金属成矿作用的关系

爬立山铁矿床位于老挝-越南长山成矿带，该带构造-岩浆演化复杂，自新元古代至新生代发生多期强烈构造岩浆活动，其中以海西期、印支期岩浆活动最为发育。长山带北界为马江缝合带，其与南部昆嵩古陆皆属于起源于冈瓦纳大陆的古印支地块，具有亲扬子-华南地块的大地构造属性(Lepvrier et al.,2008)。晚古生代－早中生代带内岩浆活动受控于北侧马江洋的形成演化及关闭后华南-印支地块碰撞汇聚的地球动力学机制。晚石炭世－中二叠世，马江洋洋板南西向斜向俯冲于印支地块之下，形成长山俯冲造山岩浆弧带，发育大量钙碱性火山-侵入岩系(如 Chieng Khuong,、Dien Bien、Song Ma granite complexes and Song Da、Dong Trau volcanic formation)[24-26]，同时伴生强烈的铜、金、铁等内生金属成矿作用。晚二叠世末-早三叠世，马江洋闭合后华南-印支地块碰撞拼合，沿长山带发生普遍的韧性剪切变形和高压变质作用[11,23]，并发育年龄为 259～245Ma 的过铝质碰撞造山花岗岩和年龄为 245～199Ma 的碰撞后伸展背景亚碱性火山-侵入岩系[12,26-28]，而成矿则以锡钨铅锌多金属矿为主。爬立山铁矿即是早二叠世洋板俯冲背景下形成的一个弧岩浆作用主导的大型矽卡岩型磁铁矿床，相同背景下长山带内还产出有色潘斑岩型铜金矿、富开矽卡岩-斑岩型铜金矿等大型铜金矿床。

爬立山矽卡岩型铁矿成矿二长花岗岩 SHRIMP U-Pb 年龄为 280.3±2.9Ma，与区域上同一成矿带内色潘斑岩型铜金矿成矿花岗斑岩 SHRIMP U-Pb 年龄(290±5Ma)[3]、富开矽卡岩-斑岩型铜金矿及附近 Long Chieng Track and Ban Houayxai 浅成低温热液型金矿成矿岩浆岩 LA-ICPMS U-Pb 年龄(310～270Ma)[4]基本一致，为晚石炭－早二叠世。且与成矿相关岩浆岩形成于活动陆缘(岛)弧-同碰撞构造背景[3,4,29,30]。结合区域上马江洋于晚石炭世－早二叠世南西向俯冲于印支地块之下、晚二叠世末－早三叠世大洋关闭华南-印支地块碰撞拼合的构造演化背景[23,26,28,31]，认为长山带与铜金铁成矿作用相关花岗质岩体形成于晚石炭世－早中二叠世马江洋向印支地块俯冲作用下的火山弧环境。带内金属成矿主要受海西晚期弧背景下中酸性岩浆岩控制，成矿时代集中于晚石炭世世－早二叠世，

成矿类型以矽卡岩型铁矿、矽卡岩-斑岩型铜金矿、斑岩型铜金矿及浅成低温热液型金矿为主，成矿同属于长山活动陆缘成矿系统，从而形成现今横跨老挝、越南两国呈北西-南东向展布的长山铜金铁多金属成矿带。对长山带岩浆岩进行研究，尤其是针对海西期、印支期的岩浆岩进行研究，探讨岩浆活动与金属矿床之间的成因联系，深化金属成矿规律认识，将有助于指导勘查找矿。

6 结论

(1) 爬立山二长花岗岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 定年结果为 280.3 ±2.9Ma，表明爬立山铁矿与成矿作用相关的二长花岗岩形成于早二叠世阿尔丁斯克期。

(2) 结合区域地质矿产资料研究表明，爬立山铁矿与长山成矿带内富开铜金矿、色潘铜金矿等都是长山带海西晚期(晚石炭世－早二叠世)大规模铜金铁成矿作用的产物，同属于长山活动陆缘成矿系统。

致谢：参与野外工作的还有成都地质调查中心范文玉教授级高级工程师、邹光富研究员、刘书生、吴振波、高建华等工程师，成文过程中张斌辉副研究员给出了指导和帮助，文稿也得到了审稿专家的精心审阅并提出了宝贵意见，在此一并致以衷心的感谢！

参考文献：

[1] 何文举. 老挝中-东部大型铁铜金矿矿集区矿床地质—对云南“三江”地区找金的启示 [J]. 云南地质，2004，23(2)：164－178.

[2] 林方成，李兴振，刘朝基. 东南亚地质矿产对比研究成果报告 [R]. 成都地质调查中心内部资料，2006.

[3] CROMIE P W，SMITH S G，ZAW K. New insights through LA-ICP-MS and sulphur isotope investigations into the occurrence of gold in the Sepon gold deposits，Laos [J]. ASEG Extended Abstracts，ASEG2006-18th Geophysical Conference，2006，1：1－3.

[4] MANAKA T，ZAW K，MEFFRE S. Geological and Tectonic Setting of Cu-Au Deposits in Northern Lao PDR [J]. Proceedings of the International Symposia on Geoscience Resources and Environments of Asian Terranes (GREAT 2008)，4th IGCP 516，and 5th APSEG，Bangkok，Thailand，2008.

[5] 朱华平，范文玉，吴振波，等. 老挝万象省爬立山铁矿床地质特征及成矿作用分析 [J]. 矿床地质(增刊)，第11届全国矿床会议论文集，2012，31(Z1－2)：183－184.

[6] 邹光富，吴振波，高建华，等. 老挝人民民主共和国万象省赛宋文县爬立山铁矿地质特征及找矿方向 [J]. 中国地质，2012，39(5)：1375－1386.

[7] 陈永清，刘俊来，冯庆来，等. 东南亚中南半岛地质及与花岗岩有关的矿床 [M]. 北京：地质出版社，2010. 178－182.

[8] 赵红娟，陈永清，卢映祥. 老挝长山成矿带与花岗岩有关的铜金铁矿床的成矿模式 [J]. 地质通报，2011，30(10)：1619－1627.

[9] SONE M，METCALFE I. Parallel Tethyan sutures in mainland Southeast Asia：New insights for Palaeo-Tethys closure and implications for the Indosinian orogeny [J]. Tectonics，2008，340：166－179.

[10] LEPVRIER C，MALUSKI H，VUONG N V，ROQUES D et al. Indosinian NW-trending shear zones within the Truong Son belt (Vietnam)：^{40}Ar-^{39}Ar Triassic ages and Cretaceous to Cenozoic overprints [J]. Tectonophysics，1997，283：105－127.

[11] LEPVRIER C，MALUSKI H，TICH V V et al. The Early Triassic Indosinian orogeny in Vietnam (Truong Son Belt and Kontum Massif)：Implications for the geodynamic evolution of Indochina [J]. Tectonophysics，2004，393：87－118.

[12] LIU J L，TRAN M D，TANG Y et al. Permo-Triassic granitoids in the northern part of the Truong Son belt，NW Vietnam：Geochronology，geochemistry and tectonic implications [J]. Gondwana Research，2012，22：628－644.

[13] 宋彪，张玉梅，万余生，等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论 [J]. 地质论评，2002，48：26－30.

[14] LUDWIG K R. SQUID 1.02，a user's manual [M]. Berkeley：Berkeley Geochronology Center Special Publication，2002.

[15] LUDWIG K R. User's Manual for Isoplot 3.00：A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley：Berkeley Geochronological Center Special Publication，2003.

[16] COMPSTON W，WILLIAMS I S，MAYER C. U-Pb geochronology of zircons from Lunar Breccia 73217 using a Sensitive High Rasolution ion Microprobe [J]. Journal of Geophysical Research，1984，89(Suppl)：B525－B534.

[17] STACEY J S，KRAMERS J D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by two-stage model [J]. Earth Planetary Science Letters，1975，26(2)：207－222.

[18] 简平，程裕淇，刘敦一. 变质锆石成因的岩相学研究—高级变质岩 U-Pb 年龄解释的基本依据 [J]. 地学前缘，2001，8(3)：183－191.

[19] 吴元保，陈道公，夏群科，等. 大别山黄土岭麻粒岩中锆石 LA-ICP-MS 微区微量元素分析和 Pb-Pb 定年 [J]. 中国科学(D辑)，2003，33(1)：20－28.

[20] SIEBEL W，BLAHA U，CHEN F et al. Geochronology and geochemistry of a dyke-host rock association and implications for the formation of the Bavarian Pfahl shear zone，Bohemian Massif [J]. Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch)，2005，94：8－23.

[21] BELOUSOVA E A，GRIFFIN W L，Y O'REILLY S，et al. Igneous zircon：trace element composition as an indicator of source rock type [J]. Contrib. Moneral. Petrol.，2002，143：602－622.

[22] 陈志宏，陆松年，李怀坤，等. 北秦岭德河黑云二长花岗片麻岩体的成岩时代-TIMS 和 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素年代学 [J]. 地质通报，2004，23(2)：136－142.

[23] LEPVRIER C, VUONG N V, MALUSKI H et al. Indosinian tectonics in Vietnam [J]. Tectonics, 2008, 340: 94 - 111.
[24] LAN C Y, CHUNG S L, HOA T T. Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of Permo-Triassic arc magmatism, northern Vietnam [J]. Res. Abstr., 2003.
[25] TONG D T, VU K. Stratigraphic Units of Vietnam [M]. Hanoi: Vietnam National University Publishing House, 2006. 1 - 526.
[26] HOA T T, ANH T T, PHUONG N T, et al. Permo-Triassic intermediate-felsic magmatism of the Truong Son belt, eastern margin of Indochina [J]. Comptes Rendus Geoscience, 2008, 340: 112 - 126.
[27] NAGY E A, SCHARER U. The Late Permian - Early Triassic Orogeny in Indochina: precise U-Pb dating results from Vietnam [J], EUG X. Terra Abstr., 1999, 4: 670.
[28] LAN C Y, CHUNG S L, SHEN J S et al. Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of granitic rocks from northern Vietnam [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2000, 18: 267 - 280.
[29] CROMIE P W. Geological setting, geochemistry and genesis of the Sepon gold and copper deposits, Laos [M]. CO-DES ARC Centre of Excellence in Ore Deposits, University of Tasmania (UTAS), Australia. 2010.
[30] KAMVONG T. Geology and genesis of porphyry-skarn Cu-Au deposits at the northern Loei Fold Belt, northeast Thailand and Laos: a progress report. Progress Report 5, Geochronology, metallogenesis and deposit styles of Loei Foldbelt in Thailand and Laos PDR, ARC Linkage Project [R], 2006.
[31] CAI J X, ZHANG K J. A new model for the Indochina and South China collision during the Late Permian to the Middle Triassic [J]. Tectonophysics, 2009, 467: 35 - 43.

SHRIMP zircon U-Pb dating of the ore-forming monzogranite from the Phalek iron deposit, Vientiane, Laos and its geological implications

WANG Jiang-li[1,2], LIN Fang-cheng[2], ZHU Hua-ping[2], WANG Hong[2], SHI Mei-feng[2]
(1. *Chinese Academy of Geological Sciences*, *Beijing* 100037, *China*; 2. *Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources*, *Chengdu* 610081, *Sichuan*, *China*)

Abstract: The Phalek iron deposit is a large-sized skarn-type magnetite deposit in the central part of the Cu-Au-Fe polymetallic structural-magmatic metallogenic belt in the Trung Son zone at the border area of Laos and Vietnam. Judged from the geology and occurrence of ore bodies, the mineralization of the iron deposit is dominantly controlled by the magmatism of the monzogranite in the study area. The present paper focuses on the petrography and SHRIMP zircon U-Pb dating of the ore-bearing monzogranite. The integration of internal structures, cathodoluminescence images and Th/U ratios of the measured zircons shows that the zircons from the monzogranite are of magmatic origin. As indicated by the U-Th-Pb isotopic analysis, the ages of the ore-bearing monzogranite masses are dated at 280.3 ± 2.9 Ma (MSWD = 0.70). The regional tectonic evolution and dynamic mechanisms for the formation of the structural-magmatic zone have also disclosed that the Phalek iron deposit resulted from the arc magmatism during the subduction of the Early Permian oceanic plate, and are assigned to the same active epicontinental metallogenic system as the late Hercynian large-sized Cu-Au-Fe deposits in the Trung Son metallogenic belt.
Key words: PhaLek iron deposit; monzogranite; SHRIMP zircon U-Pb dating; Laos; Southeast Asia